



Constraints on the early growth of super massive black holes with the Subaru Hyper Suprime-Cam wide-field imaging survey

著者	He Wanqiu
number	86
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	理博第3229号
URL	http://hdl.handle.net/10097/00126096

論文内容要旨

(NO . 1)

氏 名	何晩秋	提出年	平成 31年
学位論文の 題 目	Constraints on the early growth of super massive black holes with the Subaru Hyper Suprime-Cam wide-field imaging survey (すばるハイパースープリームカム広視野撮像探査による超大質量ブラックホールの初期成長への制限)		

論文目次

1 Introduction	1
2 Search for low-luminosity quasars in the early universe	15
3 Black hole mass and Eddington ratio of low-luminosity quasars at $z \sim 4$	30
4 Clustering analysis	51
5 Discussion and Summary	74

Supermassive black holes (SMBHs) are found to be ubiquitous at the center of local massive galaxies. However, their origins still remain unclear. Since SMBHs reach the peak of their growth, i.e. maximum number density of quasars, at $z \sim 2 - 3$, it is important to quantitatively investigate their accretion history above $z \sim 3$ to probe the early growth of SMBHs from their seeds. In this work, the early growth of SMBHs is studied by constraining Eddington ratio and duty cycle of the rapid accretion periods, which are observed as “quasars”, utilizing the wide and deep imaging data of the Subaru Hyper Suprime-Cam survey. We select a large number of $z = 4$ quasar candidates down to $i = 24$, which are $\sim 1 - 3$ mag less-luminous than the SDSS luminous quasars at the same epoch. The low-luminosity quasars cover a magnitude range beyond the knee of the quasar luminosity function at $z = 4$. They are thus more abundant, and can represent the typical accreting SMBHs in the early universe. The spectroscopic follow-up observations with the Anglo-Australian Telescope/AAOmega and the KeckII/DEIMOS identify 57 new $z \sim 4$ low-luminosity quasars among them. We firstly evaluate the black hole masses and Eddington ratios of the 57 identified low-luminosity quasars with the broad CIV emission line. Utilizing the statistical sample of quasars with known black hole mass and Eddington ratio, we derived the flux-limit corrected $z = 4$ black hole mass function (BHMF) and Eddington-ratio distribution function (ERDF). Thanks to the deepness of the low-luminosity quasar sample, the reliable constraint ($>10\%$ completeness) in $z \sim 4$ BHMF is extended to $M_{\text{BH}} > 10^{7.8}$ from $M_{\text{BH}} > 10^9$, which is derived by the SDSS luminous quasars. By comparing the newly

constrained BHMF to the total BHMF converted from the galaxy stellar mass function at $z \sim 4$, a quasar's duty cycle of $\sim 3\%$ in galaxy is obtained. The duty cycle has no strong dependence on black hole mass, and no significant evolution to $z \sim 2$.

We can further constrain the duty cycle of quasars in halo via their environment. In order to constrain the mass of their host dark matter halos, we examined the clustering of the entire $z \sim 4$ HSC low-luminosity quasar sample by their cross-correlation function (CCF) with LBGs. By comparing their clustering to that of luminous SDSS quasars evaluated with the CCF, we found no significant luminosity dependence of quasar clustering at $z \sim 4$, indicating both of the high- and low-luminosity quasars reside in halos with $\sim 10^{12} M_{\odot}$, in contradiction to previous works suggesting a strong ACF for the luminous quasars at $z \sim 4$. The bias factor of the less-luminous quasars implies the minimal mass of their host dark matter halos is $0.3-2 \times 10^{12} h^{-1} M_{\odot}$, corresponding to a quasar duty cycle of 0.1-6% in halo. The estimated duty cycle of low-luminosity quasars in halos is consistent with that in galaxies at $z \sim 4$, though the uncertainty of both duty cycles is large.

Finally, to constrain the seed black holes of the 57 identified low-luminosity quasars, we trace back their mass assembly history with the estimated black hole mass, Eddington ratio and duty cycle information. Although they are found to have a less-massive black hole mass, and an Eddington ratio as high as the SDSS luminous quasars, a heavy black hole seed and a continuous accretion is required to form them at $z \sim 4$. If we assume they are the progenitors of the most massive SMBHs found at $z < 2$, to not exceed the maximum black hole mass observed, they are expected to suddenly transit from the vigorous accretion at $z > 4$ to an episodic accretion at $z < 4$.

論文審査の結果の要旨

何晩秋氏の博士論文は銀河中心に存在する超大質量ブラックホールの起源の解明のため、超大質量ブラックホールの降着成長に対応するクェーサー活動が、ピークを迎える前の赤方偏移 4 の初期成長の時期のクェーサーの統計的なサンプルを用いて、超大質量ブラックホールの初期成長の様子に制限をつける研究である。これまではスローンデジタルスカイサーベイのデータを用いた研究で大光度クェーサーのみしかとらえられていなかったが、今回はすばる望遠鏡で行われている Hyper Suprime Cam (HSC) による広視野多色撮像探査のデータを用いることで、より暗く、つまりより典型的な、種族のクェーサーに対して、空間相関、ブラックホール質量分布、エディントン光度比分布の統計的な議論を行った。

HSC の撮像観測のデータからクェーサーサンプルを構築し、クェーサー自体の空間相関の強度に対して制限を付けた。クェーサーは同じ赤方偏移の銀河サンプルと同じ程度の空間相関を持つことを示し、これらのクェーサーがこの時代の一般的な銀河の中で数%の頻度で起こっている現象であることを示唆する。また得られたサンプルに対して多天体分光探査観測を行い、ブラックホール質量の推定を行った。推定されたブラックホール質量はスローンデジタルスカイサーベイで得られている大光度クェーサーに比べて系統的に小さい。エディントン光度比はエディントン限界に近く、大光度クェーサーと同じ程度のエディントン光度比を持つ結果となった。ブラックホール質量の分布関数を銀河の質量分布関数と比較することで、銀河の中で活動的なクェーサーを示す割合に制限をつけ、こちらも数%の頻度で起こっているという結果となった。

これらの結果は赤方偏移 4 にみられる典型的なクェーサー種族の超大質量ブラックホールの質量を説明するには、より初期の宇宙では、より頻度が高いか、よりエディントン光度比の大きい活動を経験しないと説明できないことを示唆し、超大質量ブラックホールの初期宇宙での成長に対して強い制限を与えるものであった。空間相関の結果についてはすでに査読論文として出版しており、ブラックホール質量分布関数の結果については出版論文として取りまとめを進めている。これらのことは自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。したがって、何晩秋氏提出の博士論文は、博士（理学）の学位論文として合格と認める。